



PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

Date of Application: July 6, 2000

Application Number: P2000-204916

Applicant(s): VICTOR COMPANY OF JAPAN, LIMITED

June 7, 2001

Commissioner,
Patent Office

Kozo Oikawa

Number of Certification: 2001-3053428

CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office

出 願 年 月 日 JUL 23 2001

Date of Application:

2000年 7月 6日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-204916

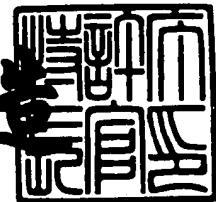
出 願 人
Applicant(s):

日本ビクター株式会社

2001年 6月 7日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3053428

【書類名】 特許願

【整理番号】 412000316

【提出日】 平成12年 7月 6日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H04L 27/30

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市神奈川区守屋町3丁目12番地 日本ビクター株式会社内

 【氏名】 高岡 勝美

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市神奈川区守屋町3丁目12番地 日本ビクター株式会社内

 【氏名】 金子 敬一

【特許出願人】

 【識別番号】 000004329

 【氏名又は名称】 日本ビクター株式会社

 【代表者】 守隨 武雄

 【電話番号】 045-450-2423

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 003654

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 再帰型離散フーリエ変換方法、及び再帰型逆離散フーリエ変換方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

間隔が一定である時刻 t 、 $t+1$ 、 $t+2$ 、 $t+3$ 、 \dots 、 $t+N-1$ 、 $t+N$ 、
(N は1以上の正の整数)のそれぞれの時点においてサンプリングして得られた
複素データ値 $x_r(t) + jx_i(t)$ 、 $x_r(t+1) + jx_i(t+1)$ 、 $x_r(t+2) + jx_i(t+2)$ 、
 $x_r(t+3) + jx_i(t+3)$ 、 \dots 、 $x_r(t+N-1) + jx_i(t+N-1)$ 、 $x_r(t+N) + jx_i(t+N)$ が供給され、その供給されたデータ値に対す
る時刻 t から供給される N 個のデータ値をデータ列とし、そのデータ列に対して
複素フーリエ変換を行なって得られる次数 k (k は0、又は N より小さな正の整
数)である周波数成分として、その実数部 $X_r(k, t)$ 、及び虚数部 $X_i(k, t)$ のそれ
ぞれを複素フーリエ係数として得る離散フーリエ変換方法において、

時刻 $t+N-1$ において時刻 t から供給されたデータ列 $x_r(t) + jx_i(t)$ 、 $x_r(t+1) + jx_i(t+1)$ 、
 $x_r(t+2) + jx_i(t+2)$ 、 $x_r(t+3) + jx_i(t+3)$ 、 \dots 、 $x_r(t+N-1) + jx_i(t+N-1)$ を第1の記憶手段に一時記憶す
る第1のステップと、

その第1のステップで一時記憶されたデータ列の複素フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、
及び $X_i(k, t)$ を得る第2のステップと、

その第2のステップで得られた複素フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ を第
2の記憶手段に一時記憶する第3のステップと、

時刻 $t+N$ において供給されるデータ値 $x_r(t+N) + jx_i(t+N)$ と、前記第1
の記憶手段に一時記憶されたデータ値 $x_r(t) + jx_i(t)$ と、前記第2の記憶手
段に一時記憶され再帰的に使用される複素フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$
とを用い、時刻 $t+1$ から供給されるデータ列に対する複素フーリエ係数 $X_r(k, t+1)$ 、
及び $X_i(k, t+1)$ を、前記 $x_r(t+N)$ と、前記 $x_r(t)$ との差の値に対す
る振幅値を与えるための正の定数値 A に対して、

【数 1】

$$X_r(k, t+1) = \left\{ X_r(k, t) + \frac{1}{A} [x_r(t+N) - x_r(t)] \right\} \cos \left[2\frac{\pi k}{N} \right] \\ - \left\{ X_i(k, t) + \frac{1}{A} [x_i(t+N) - x_i(t)] \right\} \sin \left[2\frac{\pi k}{N} \right]$$

$$X_i(k, t+1) = \left\{ X_i(k, t) + \frac{1}{A} [x_i(t+N) - x_i(t)] \right\} \cos \left[2\frac{\pi k}{N} \right] \\ + \left\{ X_r(k, t) + \frac{1}{A} [x_r(t+N) - x_r(t)] \right\} \sin \left[2\frac{\pi k}{N} \right]$$

により得る第4のステップと、

より複素フーリエ係数を得ることを特徴とする再帰型離散フーリエ変換方法。

【請求項 2】

標本化周波数を f_s とし、間隔が一定である時刻 t 、 $t+1$ 、 $t+2$ 、 $t+3$ 、 \dots 、 $t+N-1$ 、 $t+N$ 、(N は1以上の正の整数)のそれぞれの時点においてサンプリングして得られた複素データ値 $x_r(t) + jx_i(t)$ 、 $x_r(t+1) + jx_i(t+1)$ 、 $x_r(t+2) + jx_i(t+2)$ 、 $x_r(t+3) + jx_i(t+3)$ 、 \dots 、 $x_r(t+N-1) + jx_i(t+N-1)$ 、 $x_r(t+N) + jx_i(t+N)$ が供給され、その供給されたデータ値に対する時刻 t から供給される N 個の複素データ値をデータ列とし、そのデータ列に対して最低周波数 f_1 と最高周波数 f_2 で与えられる周波数間隔を指定周波数間隔とするとともに、その指定周波数間隔を前記 N で除した周波数間隔を最小周波数間隔とし、その最小周波数間隔ごとに複素フーリエ変換を行なって得られるフーリエ変換結果を、前記最小周波数間隔の k 倍 (k は0、又は N より小さな正の整数) である周波数成分を、その実数部 $X_r(k, t)$ 、及び虚数部 $X_i(k, t)$ のそれぞれで表される複素フーリエ係数として得る離散フーリエ変換方法において、

時刻 $t+N-1$ において時刻 t から供給されたデータ列 $x_r(t) + jx_i(t)$ 、 $x_r(t+1) + jx_i(t+1)$ 、 $x_r(t+2) + jx_i(t+2)$ 、 $x_r(t+3) + jx_i(t+3)$ 、 \dots 、 $x_r(t+N-1) + jx_i(t+N-1)$ を第1の記憶手段に一時記憶す

る第1のステップと、

その第1のステップで一時記憶されたデータ列の複素フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ を得る第2のステップと、

その第2のステップで得られた複素フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ を第2の記憶手段に一時記憶する第3のステップと、

時刻 $t+N$ において供給されるデータ値 $x_r(t+N) + jx_i(t+N)$ と、前記第1の記憶手段に一時記憶されたデータ値 $x_r(t) + jx_i(t)$ と、前記第2の記憶手段に一時記憶され再帰的に使用される複素フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ とを用い、時刻 $t+1$ から供給されるデータ列に対する、前記最低周波数 $f1$ と最高周波数 $f2$ とにより与えられる前記指定周波数間隔における複素フーリエ係数 $X_r(k, t+1)$ 、及び $X_i(k, t+1)$ を、前記 $x(t+N)$ と、前記 $x(t)$ との差の値に対する振幅値を与えるための正の定数値 A に対して、

【数2】

$$\begin{aligned} X_r(k, t+1) = & \left\{ X_r(k, t) + \frac{1}{A} [x_r(t+N) - x_r(t)] \right\} \\ & \times \cos \left\{ 2 \frac{\pi}{fs} \left[\frac{(f2-f1)k}{N-1} + f1 \right] \right\} \\ & - \left\{ X_i(k, t) + \frac{1}{A} [x_i(t+N) - x_i(t)] \right\} \\ & \times \sin \left\{ 2 \frac{\pi}{fs} \left[\frac{(f2-f1)k}{N-1} + f1 \right] \right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_i(k, t+1) = & \left\{ X_i(k, t) + \frac{1}{A} [x_i(t+N) - x_i(t)] \right\} \\ & \times \cos \left\{ 2 \frac{\pi}{fs} \left[\frac{(f2-f1)k}{N-1} + f1 \right] \right\} \\ & + \left\{ X_r(k, t) + \frac{1}{A} [x_r(t+N) - x_r(t)] \right\} \\ & \times \sin \left\{ 2 \frac{\pi}{fs} \left[\frac{(f2-f1)k}{N-1} + f1 \right] \right\} \end{aligned}$$

により得る第4のステップと、

より複素フーリエ係数を得ることを特徴とする再帰型離散フーリエ変換方法。

【請求項3】

間隔が一定である時刻 t 、 $t+1$ 、 $t+2$ 、 $t+3$ 、 \dots 、 $t+N-1$ 、 $t+N$ 、
(N は1以上の正の整数)のそれぞれの時点においてサンプリングして得られた
複素データ値 $x_r(t) + jx_i(t)$ 、 $x_r(t+1) + jx_i(t+1)$ 、 $x_r(t+2) + jx_i(t+2)$ 、 $x_r(t+3) + jx_i(t+3)$ 、 \dots 、 $x_r(t+N-1) + jx_i(t+N-1)$ 、 $x_r(t+N) + jx_i(t+N)$ が供給され、その供給されたデータ値に対する時刻 t から供給される N 個のデータ値をデータ列とし、そのデータ列に対して逆複素フーリエ変換を行なって得られる次数 k (k は0、又は N より小さな正の整数)である逆複素フーリエ変換成分として、その実数部 $X_r(k, t)$ 、及び虚数部 $X_i(k, t)$ のそれぞれを逆複素フーリエ係数として得る逆離散フーリエ変換方法において、

時刻 $t+N-1$ において時刻 t から供給されたデータ列 $x_r(t) + jx_i(t)$ 、 $x_r(t+1) + jx_i(t+1)$ 、 $x_r(t+2) + jx_i(t+2)$ 、 $x_r(t+3) + jx_i(t+3)$ 、 \dots 、 $x_r(t+N-1) + jx_i(t+N-1)$ を第1の記憶手段に一時記憶する第1のステップと、

その第1のステップで一時記憶されたデータ列の逆複素フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ を得る第2のステップと、

その第2のステップで得られた逆複素フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ を第2の記憶手段に一時記憶する第3のステップと、

時刻 $t+N$ において供給されるデータ値 $x_r(t+N) + jx_i(t+N)$ と、前記第1の記憶手段に一時記憶されたデータ値 $x_r(t) + jx_i(t)$ と、前記第2の記憶手段に一時記憶された逆複素フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ とを用い、時刻 $t+1$ から供給されるデータ列に対する逆複素フーリエ係数 $X_r(k, t+1)$ 、及び $X_i(k, t+1)$ を、前記 $x_r(t+N)$ と、前記 $x_r(t)$ との差の値に対する振幅値を与えるための正の定数値 B に対して、

【数 3】

$$X_r(k, t+1) = \left\{ X_r(k, t) + \frac{1}{B} [x_r(t+N) - x_r(t)] \right\} \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \\ + \left\{ X_i(k, t) + \frac{1}{B} [x_i(t+N) - x_i(t)] \right\} \sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right]$$

$$X_i(k, t+1) = \left\{ X_i(k, t) + \frac{1}{B} [x_i(t+N) - x_i(t)] \right\} \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \\ - \left\{ X_r(k, t) + \frac{1}{B} [x_r(t+N) - x_r(t)] \right\} \sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right]$$

により得る第4のステップと、

より複素逆フーリエ係数を得ることを特徴とする再帰型逆離散フーリエ変換方法。

【請求項 4】

標本化周波数を f_s とし、間隔が一定である時刻 t 、 $t+1$ 、 $t+2$ 、 $t+3$ 、 \dots 、 $t+N-1$ 、 $t+N$ 、(N は 1 以上の正の整数) のそれぞれの時点においてサンプリングして得られた複素データ値 $x_r(t) + jx_i(t)$ 、 $x_r(t+1) + jx_i(t+1)$ 、 $x_r(t+2) + jx_i(t+2)$ 、 $x_r(t+3) + jx_i(t+3)$ 、 \dots 、 $x_r(t+N-1) + jx_i(t+N-1)$ 、 $x_r(t+N) + jx_i(t+N)$ が供給され、その供給されたデータ値に対する時刻 t から供給される N 個のデータ値をデータ列とし、そのデータ列に対して最低周波数 f_1 と最高周波数 f_2 で与えられる周波数間隔を指定周波数間隔とするとともに、その指定周波数間隔を前記 N で除した周波数間隔を最小周波数間隔とし、その最小周波数間隔ごとに逆フーリエ変換を行なって得られる逆フーリエ変換結果を、前記最小周波数間隔の k 倍 (k は 0、又は N より小さな正の整数) である信号成分として、その実数部 $X_r(k, t)$ 、及び虚数部 $X_i(k, t)$ のそれぞれを得る逆離散フーリエ変換方法において、

時刻 $t+N-1$ において時刻 t から供給されたデータ列 $x_r(t) + jx_i(t)$ 、 $x_r(t+1) + jx_i(t+1)$ 、 $x_r(t+2) + jx_i(t+2)$ 、 $x_r(t+3) + jx_i(t+3)$ 、

.....、 $x_r(t+N-1) + jx_i(t+N-1)$ を第1の記憶手段に一時記憶する第1のステップと、

その第1のステップで一時記憶されたデータ列の逆フーリエ変換を行ない、逆フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ を得る第2のステップと、

その第2のステップで得られた逆フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ を第2の記憶手段に一時記憶する第3のステップと、

時刻 $t+N$ において供給されるデータ値 $x_r(t+N) + jx_i(t+N)$ と、前記第1の記憶手段に一時記憶されたデータ値 $x_r(t) + jx_i(t)$ と、前記第2の記憶手段に一時記憶された逆フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ とを用い、時刻 $t+1$ から供給されるデータ列に対する、前記最低周波数 $f1$ と最高周波数 $f2$ とにより与えられる指定周波数間隔における逆フーリエ係数 $X_r(k, t+1)$ 、及び $X_i(k, t+1)$ を、前記 $x(t+N)$ と、前記 $x(t)$ との差の値に対する振幅値を与えるための正の定数値 B に対して、

【数 4】

$$\begin{aligned}
X_r(k, t+1) = & \left\{ X_r(k, t) + \frac{1}{B} [x_r(t+N) - x_r(t)] \right\} \\
& \times \cos \left\{ 2 \frac{\pi}{fs} \left[\frac{(f2-f1)k}{N-1} + f1 \right] \right\} \\
& + \left\{ X_i(k, t) + \frac{1}{B} [x_i(t+N) - x_i(t)] \right\} \\
& \times \sin \left\{ 2 \frac{\pi}{fs} \left[\frac{(f2-f1)k}{N-1} + f1 \right] \right\}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
X_i(k, t+1) = & \left\{ X_i(k, t) + \frac{1}{B} [x_i(t+N) - x_i(t)] \right\} \\
& \times \cos \left\{ 2 \frac{\pi}{fs} \left[\frac{(f2-f1)k}{N-1} + f1 \right] \right\} \\
& - \left\{ X_r(k, t) + \frac{1}{B} [x_r(t+N) - x_r(t)] \right\} \\
& \times \sin \left\{ 2 \frac{\pi}{fs} \left[\frac{(f2-f1)k}{N-1} + f1 \right] \right\}
\end{aligned}$$

により得る第4のステップと、

より複素逆フーリエ係数を得ることを特徴とする再帰型逆離散フーリエ変換方法。

【請求項5】

請求項1、又は2に記載の再帰型離散フーリエ変換方法は、

時刻 t において供給されるデータ値 $y_r(t) + jy_i(t)$ と、時刻 $t+N$ において供給されるデータ値 $y_r(t+N) + jy_i(t+N)$ と、時刻 t から時刻 $t+N-1$ の間に供給された N 個のデータ値 $y_r(t) + jy_i(t)$ 、 $y_r(t+1) + jy_i(t+1)$ 、 \dots 、 $y_r(t+N-1) + jy_i(t+N-1)$ に対して得た実数部と虚数部の複素逆離散フーリエ係数 $Y_r(k, t)$ 、及び $Y_i(k, t)$ とを用い、

時刻 $t+1$ から供給される N 個のデータ値に対する複素逆離散フーリエ係数の実数部 $Y_r(k, t+1)$ 、及び虚数部 $Y_i(k, t+1)$ を、前記 $y_r(t+N)$ と、前記 $y_r(t)$

）との差の値に対する振幅値を与えるための正の定数値Bに対して、

【数 5】

$$Y_r(k, t+1) = \left\{ Y_r(k, t) + \frac{1}{B} [Y_r(t+N) - Y_r(t)] \right\} \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \\ + \left\{ Y_i(k, t) + \frac{1}{B} [y_i(t+N) - y_i(t)] \right\} \sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right]$$

$$Y_i(k, t+1) = \left\{ Y_i(k, t) + \frac{1}{B} [y_i(t+N) - y_i(t)] \right\} \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \\ - \left\{ Y_r(k, t) + \frac{1}{B} [y_r(t+N) - y_r(t)] \right\} \sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right]$$

により逆離散フーリエ変換データを得るとともに、その得られた逆離散フーリエ変換データが供給され、その供給された逆離散フーリエ変換データに対する離散フーリエ変換を行なう再帰型離散フーリエ変換方法であって、

その再帰型離散フーリエ変換は、前記逆離散フーリエ変換時に用いられた定数値Bに相対応する定数値Aを用いて離散フーリエ変換を行なうことを特徴とする再帰型離散フーリエ変換方法。

【請求項 6】

前記複素フーリエ係数の次数を示すkを所望の値に設定し、その設定したkの値に対するフーリエ変換を、前記間隔が一定である時刻毎に繰り返して行うことを特徴とする請求項 1、又は 2 に記載の再帰型離散フーリエ変換方法。

【請求項 7】

前記複素フーリエ係数の次数を示すkを所望の値に設定し、その設定したkの値に対する逆フーリエ変換を、前記間隔が一定である時刻毎に繰り返して行うことを特徴とする請求項 3、又は 4 に記載の再帰型逆離散フーリエ変換方法。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は、フーリエ変換、又は逆フーリエ変換の演算方法に関し、特に簡易な

演算処理によりそれらの変換を行い、それらの変換の演算結果を短時間に得るための演算方法に関するものである。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

従来より、時系データ列の周波数分析等に用いるフーリエ変換手法は音響信号処理分野、医療用機器の画像データ処理分野等における信号のスペクトル解析の外に、音響信号や画像信号の高圧縮符号化方式に、さらには通信分野における変調、復調技術としては相補的に動作する逆フーリエ変換法、及びフーリエ変換法が幅広く用いられている。

【 0 0 0 3 】

そのフーリエ変換手法は、デジタル量として標本化されたデータ列を、 N 個 (N は整数値、例えば 1 0 2 4) の集団として扱い、その N 個のデータ列が存在する時間間隔を窓期間とするとともに、その窓期間を基本周波数とし、その窓期間に存在するデータ列の信号成分を基本周波数の高調波信号の実数部成分、及び虚数部成分として求めるものである。

また、逆フーリエ変換手法はそのフーリエ変換手法と相補的に行なう変換方法である。

【 0 0 0 4 】

そして、そのフーリエ変換を行なうために供給されるデータ列は、所定の期間毎に標本化された離散的なデータ列であり、その離散データに対するフーリエ変換を行う手法は離散フーリエ変換 (D F T ; Discrete Fourier Transform) と呼ばれ、その離散フーリエ変換技術は、例えば製造工程の状態を離散データにより得、その得られたデータを分析することにより工程の品質を最良に保ち、製造される製品の良品率を向上させるといったような制御技術の中での分析技術としても利用されるほか、離散データに対する逆フーリエ変換手法は逆離散フーリエ変換 (I D F T ; Inverse Discrete Fourier Transform) と呼ばれ、逆離散フーリエ変換は音響分野における音源の生成の外、2 0 0 3 年より開始されるデジタル地上放送の変調に用いられるなど、その応用分野は年々広げられている。

【 0 0 0 5 】

この様にしてなされる離散フーリエ変換技術と逆離散フーリエ変換技術は相補的に動作する信号変換技術であるが、前者の離散フーリエ変換は、供給される信号を一定時間間隔でサンプリングし、そのサンプリングして得られる電圧値を標本化されたデータとして得、その得られたデータの集合であるデータ列が、所定の時間 t において得られる N 個のデータ $x(t)$ 、 $x(t+1)$ 、 $x(t+2)$ 、 \dots 、 $x(t+N-2)$ 、 $x(t+N-1)$ であるとき、その N 個のデータに対して求められる離散フーリエ変換の値 $x(k, t)$ は次式で定義される。

【0006】

【数6】

$$\begin{aligned}
 X(k, t) &= \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} x(n) \exp \left\{ -j 2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right\} \\
 &= \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} \left\{ x_r(n) \cos \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] + x_i(n) \sin \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \right\} \\
 &\quad + j \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} \left\{ -x_r(n) \sin \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] + x_i(n) \cos \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \right\} \\
 &\quad \dots \dots \text{式(1)}
 \end{aligned}$$

$$for k=0, 1, \dots, N-1$$

【0007】

この式からも分かるように、フーリエ変換は供給されるデータ列に対し求めるポイント毎に固有の基底関数を畳み込むようにして行われ、その基底関数を畳み込む演算を、多数の乗算処理により行うようにしている。

【0008】

このようにして、その乗算処理を専用の乗算回路により、又はDSP (Digital signal processor) などを用いて行う場合などは、これらの乗算回路、ないしはDSPなどの演算のために使用されるハードウェアに対する負担が非常に大きくなることが知られている。

【0009】

その乗算処理にする負担は、前述の式(1)で表される変換式による場合、 $4N^2$ 回の乗算を必要とし、例えば N が 1024 である場合の乗算回数は約 420

万回となってしまうため、この回数の乗算を行うための回路規模は大きくなり、演算処理の負担が非常に大きくなり、さらにデータ列として取り扱うポイント数 N が大きくなると乗算処理回数も 2 乗倍で増加してしまうなど実用面で好ましくない。

【0010】

そこで通常は、離散フーリエ変換式について、基底関数が周期的な関数から成っていることを利用し、その規則性に着目して行列の変形を行うことにより演算効率を高めた FFT (Fast Fourier Transform: 高速フーリエ変換) が利用されている。

【0011】

その FFT には、バタフライ演算と呼ばれる演算手法が用いられており、そのバタフライ演算は、簡単な整数値である、例えば 2 を基数として定義し、供給される 2 値の複素データに対して加算、減算、乗算の複素演算を各 1 回ずつ行うことにより、2 値の複素データを出力するように構成している。

【0012】

従って、 N ポイントの FFT は、 $\log_2 N$ 段のステージと、 $(N/2) \log_2 N$ 個のバタフライ演算により構成されており、 $(2N) \log_2 N$ 回の乗算処理回数により FFT の演算結果を得ることができるなど、演算効率の高いフーリエ変換手法として用いられている。

【0013】

通常は、この様にしてなされる FFT、もしくは DFT (Discrete Fourier Transform: 離散フーリエ変換) が用いられて、一定時間間隔で逐次サンプリングされて供給されるデータ列に対してフーリエ変換が行われるが、そのフーリエ変換は、サンプリングされ、標本化されたデータ列を順次メモリ回路に一時記憶しつつ、そのメモリ回路に一時記憶されたデータ数が N 個となったときに、その N 個のデータに対するフーリエ変換処理を開始するようにしている。

【0014】

その変換処理を行っている期間はメモリ回路に一時記憶されたデータは記憶されたままの状態に保たれたままフーリエ変換処理がなされ、演算処理が終了し

た時点で、再度新しいデータをメモリ回路に供給して一時記憶し、N個の所定量のデータが記憶された後に再度フーリエ変換処理を開始する様になされている。

【0015】

しかし、フーリエ演算処理を行っているときにもデータは休みなく供給されるため、別系統としてN個のデータ列を蓄える第2のメモリ回路を設けておき、N個のデータが供給される毎に、これらのメモリ回路を交互に一時記憶処理と演算処理を行なうようにして、連続的に供給される時系列データに対するフーリエ変換処理を行なう方法も実施されている。

【0016】

【発明が解決しようとする課題】

このようにしてなされるフーリエ変換の方法は、N個の一時記憶されたデータ列に対して、すなわちデータ列をブロック単位として扱いながら演算処理を行うため、このようにしてなされるフーリエ変換処理では少なくともN個分のデータ列に相当する時間分の遅延が生じてしまい、リアルタイムに変換結果を得ることはできない。

従って、データ列は逐次的に供給されるものの、フーリエ解析した結果はN個のサンプリング時間間隔毎にしか得られないこととなり、このようにして生じる遅延時間はフーリエ解析を利用する応用面で好ましくなく、利用される分野を制限していることとなる。

【0017】

この問題を解決するため、逐次供給される、サンプリングされる新たなデータを含むNポイントのデータ列に対して即時にフーリエ変換処理を行い、サンプリングされたデータが供給される毎にフーリエ変換処理した結果を得るためには、その1サンプリング期間内にNポイントのフーリエ変換処理を行わなければならないこととなり、このような高速演算処理用に開発されたFFT演算手法を用いる場合でも、そのFFTから連続して演算されたフーリエ変換結果を得るためには、N倍の演算処理速度が要求され、そのような超高速なFFTを行ない、得られた演算結果を供給することは通常の場合は困難である。

【0018】

フーリエ変換は、一般にFFT演算処理手法が用いられるが、そのFFT演算処理はサンプリング周波数が f_s であるクロック信号によりサンプリングされ、量子化されて供給されるNポイントのデータ列に対して、通常は f_s/N の周波数間隔で演算処理を行う。

【0019】

そしてその演算処理は、演算処理中に供給される時系列データに対しても連続してフーリエ解析処理がなされるよう、フーリエ変換処理中にも他のバッファメモリにデータを取り込むようにし、一方のバッファメモリに一時記憶されたデータを演算処理している期間に他方のバッファメモリに供給されるデータを取り込み、N個のデータ取り込みを終了した時点で演算処理とデータ取り込み処理を切り換えてフーリエ演算処理を行なう方法がよく用いられるが、この方法は2組のバッファメモリと、FFT演算処理手段が必要となり経済的に好ましい方法ではない。

【0020】

またこの方法では、供給されるN個の時系列データを纏めて扱うブロック処理である為、取り込まれたNポイントのデータに対するフーリエ変換結果が出力されるのはN個のサンプリングクロック時間後であり、そのときに得られる解析結果はNサンプル毎のフーリエ変換処理結果のみしか出力されない。

【0021】

このようにして、逐次新たにサンプリングされて供給されるデータを含む最新のNポイントのデータに対するフーリエ変換結果をリアルタイムに出力することは出来なく、リアルタイムに変換結果を出力するためには上述のようなサンプリング期間毎のフーリエ変換処理が必要であるが、1サンプリング時間間隔で連続してフーリエ変換を行うことは、単位時間当りの演算量が膨大となり現実的ではない。

【0022】

一方、連続してフーリエ変換処理された演算結果を得る方法として、特開平1-59454「フーリエ変換装置及びフーリエ変換法」が提案されている。

この公報には、サンプリングされて供給される振動波形値をフーリエ変換する

方法について記述されているが、同変換法は新しく供給される振動波形値と、既に供給されフーリエ演算処理に用いられた古い振動波形値との差の値を求め、既に演算処理されて得られている古い複素振幅値より新しい複素振幅値を、振動波形のサンプリング値が供給される毎に得るというものである。

【 0 0 2 3 】

しかし、同公報に記述される入力データ列は実数のみを扱っており、サンプリングされるデータ列が時系列に表現できるデータ列である場合は実数のみでもよいが、通信分野などに用いられるフーリエ演算処理では実数部入力の他に虚数部入力信号が扱われる場合もあり、供給される複素信号に対して変換処理がなされなければならない。

【 0 0 2 4 】

しかし、従来の、連続して供給されるデータに対してフーリエ変換処理された演算結果を得るような、高速に動作するフーリエ変換方法においては、複素数で供給されるデータ列に対する複素フーリエ変換ができないという問題があった。

【 0 0 2 5 】

そしてまた、従来の高速フーリエ変換では定められた周波数帯域に対する周波数分析は行なわれているが、分析のための周波数分解能を可変するような任意の周波数帯域に対する周波数解析は出来ないため、周波数分析手法に対する自由度が少なく、有効な周波数分析を行えないといった問題があった。

【 0 0 2 6 】

そこで本発明は、複素数で供給されるデータ列に対するフーリエ解析を可能とするとともに、そのフーリエ解析を所望する任意の周波数帯域について、所望する任意の解像度を有して変換を行うのに適す連続的フーリエ変換手法を提供しようというものである。

【 0 0 2 7 】

【課題を解決するための手段】

本発明は、上記課題を解決するために以下の 1) ～ 7) の手段より成るものである。

すなわち、

【0028】

1) 間隔が一定である時刻 t 、 $t+1$ 、 $t+2$ 、 $t+3$ 、 \dots 、 $t+N-1$ 、 $t+N$ 、(N は1以上の正の整数)のそれぞれの時点においてサンプリングして得られた複素データ値 $x_r(t) + jx_i(t)$ 、 $x_r(t+1) + jx_i(t+1)$ 、 $x_r(t+2) + jx_i(t+2)$ 、 $x_r(t+3) + jx_i(t+3)$ 、 \dots 、 $x_r(t+N-1) + jx_i(t+N-1)$ 、 $x_r(t+N) + jx_i(t+N)$ が供給され、その供給されたデータ値に対する時刻 t から供給される N 個のデータ値をデータ列とし、そのデータ列に対して複素フーリエ変換を行なって得られる次数 k (k は0、又は N より小さな正の整数)である周波数成分として、その実数部 $X_r(k, t)$ 、及び虚数部 $X_i(k, t)$ のそれぞれを複素フーリエ係数として得る離散フーリエ変換方法において、

時刻 $t+N-1$ において時刻 t から供給されたデータ列 $x_r(t) + jx_i(t)$ 、 $x_r(t+1) + jx_i(t+1)$ 、 $x_r(t+2) + jx_i(t+2)$ 、 $x_r(t+3) + jx_i(t+3)$ 、 \dots 、 $x_r(t+N-1) + jx_i(t+N-1)$ を第1の記憶手段に一時記憶する第1のステップ(図1の符号1に対応、以下同様)と、

その第1のステップで一時記憶されたデータ列の複素フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ を得る第2のステップ(3)と、

その第2のステップで得られた複素フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ を第2の記憶手段に一時記憶する第3のステップ(4)と、

時刻 $t+N$ において供給されるデータ値 $x_r(t+N) + jx_i(t+N)$ と、前記第1の記憶手段に一時記憶されたデータ値 $x_r(t) + jx_i(t)$ と、前記第2の記憶手段に一時記憶され再帰的に使用される複素フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ とを用い、時刻 $t+1$ から供給されるデータ列に対する複素フーリエ係数 $X_r(k, t+1)$ 、及び $X_i(k, t+1)$ を、前記 $x_r(t+N)$ と、前記 $x_r(t)$ との差の値に対する振幅値を与えるための正の定数値 A に対して、

【0029】

【数 7】

$$X_r(k, t+1) = \left\{ X_r(k, t) + \frac{1}{A} [x_r(t+N) - x_r(t)] \right\} \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \\ - \left\{ X_i(k, t) + \frac{1}{A} [x_i(t+N) - x_i(t)] \right\} \sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right]$$

$$X_i(k, t+1) = \left\{ X_i(k, t) + \frac{1}{A} [x_i(t+N) - x_i(t)] \right\} \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \\ + \left\{ X_r(k, t) + \frac{1}{A} [x_r(t+N) - x_r(t)] \right\} \sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right]$$

【0030】

により得る第4のステップ(3)と、

より複素フーリエ係数を得ることを特徴とする再帰型離散フーリエ変換方法。

【0031】

2) 標本化周波数を f_s とし、間隔が一定である時刻 t 、 $t+1$ 、 $t+2$ 、 $t+3$ 、
 \dots 、 $t+N-1$ 、 $t+N$ 、(N は1以上の正の整数)のそれぞれの時点においてサンプリングして得られた複素データ値 $x_r(t) + jx_i(t)$ 、 $x_r(t+1) + jx_i(t+1)$ 、 $x_r(t+2) + jx_i(t+2)$ 、 $x_r(t+3) + jx_i(t+3)$ 、 \dots 、 $x_r(t+N-1) + jx_i(t+N-1)$ 、 $x_r(t+N) + jx_i(t+N)$ が供給され、その供給されたデータ値に対する時刻 t から供給される N 個の複素データ値をデータ列とし、そのデータ列に対して最低周波数 f_1 と最高周波数 f_2 で与えられる周波数間隔を指定周波数間隔とするとともに、その指定周波数間隔を前記 N で除した周波数間隔を最小周波数間隔とし、その最小周波数間隔ごとに複素フーリエ変換を行なって得られるフーリエ変換結果を、前記最小周波数間隔の k 倍(k は0、又は N より小さな正の整数)である周波数成分を、その実数部 $X_r(k, t)$ 、及び虚数部 $X_i(k, t)$ のそれぞれで表される複素フーリエ係数として得る離散フーリエ変換方法において、

時刻 $t+N-1$ において時刻 t から供給されたデータ列 $x_r(t) + jx_i(t)$ 、 $x_r(t+1) + jx_i(t+1)$ 、 $x_r(t+2) + jx_i(t+2)$ 、 $x_r(t+3) + jx_i(t+3)$ 、

.....、 $x_r(t+N-1) + jx_i(t+N-1)$ を第 1 の記憶手段に一時記憶する第 1 のステップ (1) と、

その第 1 のステップで一時記憶されたデータ列の複素フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ を得る第 2 のステップ (3) と、

その第 2 のステップで得られた複素フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ を第 2 の記憶手段に一時記憶する第 3 のステップ (4) と、

時刻 $t+N$ において供給されるデータ値 $x_r(t+N) + jx_i(t+N)$ と、前記第 1 の記憶手段に一時記憶されたデータ値 $x_r(t) + jx_i(t)$ と、前記第 2 の記憶手段に一時記憶され再帰的に使用される複素フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ とを用い、時刻 $t+1$ から供給されるデータ列に対する、前記最低周波数 $f1$ と最高周波数 $f2$ とにより与えられる前記指定周波数間隔における複素フーリエ係数 $X_r(k, t+1)$ 、及び $X_i(k, t+1)$ を、前記 $x(t+N)$ と、前記 $x(t)$ との差の値に対する振幅値を与えるための正の定数値 A に対して、

【 0 0 3 2 】

【数 8】

$$\begin{aligned}
X_r(k, t+1) = & \left\{ X_r(k, t) + \frac{1}{A} [x_r(t+N) - x_r(t)] \right\} \\
& \times \cos \left\{ 2 \frac{\pi}{fs} \left[\frac{(f2-f1)k}{N-1} + f1 \right] \right\} \\
& - \left\{ X_i(k, t) + \frac{1}{A} [x_i(t+N) - x_i(t)] \right\} \\
& \times \sin \left\{ 2 \frac{\pi}{fs} \left[\frac{(f2-f1)k}{N-1} + f1 \right] \right\}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
X_i(k, t+1) = & \left\{ X_i(k, t) + \frac{1}{A} [x_i(t+N) - x_i(t)] \right\} \\
& \times \cos \left\{ 2 \frac{\pi}{fs} \left[\frac{(f2-f1)k}{N-1} + f1 \right] \right\} \\
& + \left\{ X_r(k, t) + \frac{1}{A} [x_r(t+N) - x_r(t)] \right\} \\
& \times \sin \left\{ 2 \frac{\pi}{fs} \left[\frac{(f2-f1)k}{N-1} + f1 \right] \right\}
\end{aligned}$$

【0033】

により得る第4のステップ(3)と、

より複素フーリエ係数を得ることを特徴とする再帰型離散フーリエ変換方法。

【0034】

3) 間隔が一定である時刻 $t, t+1, t+2, t+3, \dots, t+N-1, t+N$ 、(N は1以上の正の整数)のそれぞれの時点においてサンプリングして得られた複素データ値 $x_r(t) + jx_i(t)$ 、 $x_r(t+1) + jx_i(t+1)$ 、 $x_r(t+2) + jx_i(t+2)$ 、 $x_r(t+3) + jx_i(t+3)$ 、 \dots 、 $x_r(t+N-1) + jx_i(t+N-1)$ 、 $x_r(t+N) + jx_i(t+N)$ が供給され、その供給されたデータ値に対する時刻 t から供給される N 個のデータ値をデータ列とし、そのデータ列に対して逆複素フーリエ変換を行なって得られる次数 k (k は0、又は N より小さな正の整数) である逆複素フーリエ変換成分として、その実数部 $X_r(k, t)$ 、及び虚数

部 $X_i(k, t)$ のそれぞれを逆複素フーリエ係数として得る逆離散フーリエ変換方法において、

時刻 $t+N-1$ において時刻 t から供給されたデータ列 $x_r(t) + jx_i(t)$ 、 $x_r(t+1) + jx_i(t+1)$ 、 $x_r(t+2) + jx_i(t+2)$ 、 $x_r(t+3) + jx_i(t+3)$ 、 \dots 、 $x_r(t+N-1) + jx_i(t+N-1)$ を第1の記憶手段に一時記憶する第1のステップ(11)と、

その第1のステップで一時記憶されたデータ列の逆複素フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ を得る第2のステップ(13)と、

その第2のステップで得られた逆複素フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ を第2の記憶手段に一時記憶する第3のステップ(14)と、

時刻 $t+N$ において供給されるデータ値 $x_r(t+N) + jx_i(t+N)$ と、前記第1の記憶手段に一時記憶されたデータ値 $x_r(t) + jx_i(t)$ と、前記第2の記憶手段に一時記憶された逆複素フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ とを用い、時刻 $t+1$ から供給されるデータ列に対する逆複素フーリエ係数 $X_r(k, t+1)$ 、及び $X_i(k, t+1)$ を、前記 $x_r(t+N)$ と、前記 $x_r(t)$ との差の値に対する振幅値を与えるための正の定数値 B に対して、

【0035】

【数9】

$$X_r(k, t+1) = \left\{ X_r(k, t) + \frac{1}{B} [x_r(t+N) - x_r(t)] \right\} \cos \left[2\frac{\pi k}{N} \right] + \left\{ X_i(k, t) + \frac{1}{B} [x_i(t+N) - x_i(t)] \right\} \sin \left[2\frac{\pi k}{N} \right]$$

$$X_i(k, t+1) = \left\{ X_i(k, t) + \frac{1}{B} [x_i(t+N) - x_i(t)] \right\} \cos \left[2\frac{\pi k}{N} \right] - \left\{ X_r(k, t) + \frac{1}{B} [x_r(t+N) - x_r(t)] \right\} \sin \left[2\frac{\pi k}{N} \right]$$

【0036】

により得る第4のステップ(13)と、

より複素逆フーリエ係数を得ることを特徴とする再帰型逆離散フーリエ変換方法。

【 0 0 3 7 】

4) 標本化周波数を f_s とし、間隔が一定である時刻 t 、 $t+1$ 、 $t+2$ 、 $t+3$ 、
 \dots 、 $t+N-1$ 、 $t+N$ 、(N は1以上の正の整数)のそれぞれの時点においてサンプリングして得られた複素データ値 $x_r(t) + jx_i(t)$ 、 $x_r(t+1) + jx_i(t+1)$ 、 $x_r(t+2) + jx_i(t+2)$ 、 $x_r(t+3) + jx_i(t+3)$ 、 \dots 、 $x_r(t+N-1) + jx_i(t+N-1)$ 、 $x_r(t+N) + jx_i(t+N)$ が供給され、その供給されたデータ値に対する時刻 t から供給される N 個のデータ値をデータ列とし、そのデータ列に対して最低周波数 f_1 と最高周波数 f_2 で与えられる周波数間隔を指定周波数間隔とするとともに、その指定周波数間隔を前記 N で除した周波数間隔を最小周波数間隔とし、その最小周波数間隔ごとに逆フーリエ変換を行なって得られる逆フーリエ変換結果を、前記最小周波数間隔の k 倍(k は0、又は N より小さな正の整数)である信号成分として、その実数部 $X_r(k, t)$ 、及び虚数部 $X_i(k, t)$ のそれぞれを得る逆離散フーリエ変換方法において、

時刻 $t+N-1$ において時刻 t から供給されたデータ列 $x_r(t) + jx_i(t)$ 、 $x_r(t+1) + jx_i(t+1)$ 、 $x_r(t+2) + jx_i(t+2)$ 、 $x_r(t+3) + jx_i(t+3)$ 、 \dots 、 $x_r(t+N-1) + jx_i(t+N-1)$ を第1の記憶手段に一時記憶する第1のステップ(11)と、

その第1のステップで一時記憶されたデータ列の逆フーリエ変換を行ない、逆フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ を得る第2のステップ(13)と、

その第2のステップで得られた逆フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ を第2の記憶手段に一時記憶する第3のステップ(14)と、

時刻 $t+N$ において供給されるデータ値 $x_r(t+N) + jx_i(t+N)$ と、前記第1の記憶手段に一時記憶されたデータ値 $x_r(t) + jx_i(t)$ と、前記第2の記憶手段に一時記憶された逆フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ とを用い、時刻 $t+1$ から供給されるデータ列に対する、前記最低周波数 f_1 と最高周波数 f_2 とにより与えられる指定周波数間隔における逆フーリエ係数 $X_r(k, t+1)$ 、及び $X_i(k, t+1)$ を、前記 $x(t+N)$ と、前記 $x(t)$ との差の値に対する振幅値を与えるための

正の定数値Bに対して、

【0038】

【数10】

$$X_r(k, t+1) = \left\{ X_r(k, t) + \frac{1}{B} [x_r(t+N) - x_r(t)] \right\} \\ \times \cos \left\{ 2 \frac{\pi}{fs} \left[\frac{(f2-f1)k}{N-1} + f1 \right] \right\} \\ + \left\{ X_i(k, t) + \frac{1}{B} [x_i(t+N) - x_i(t)] \right\} \\ \times \sin \left\{ 2 \frac{\pi}{fs} \left[\frac{(f2-f1)k}{N-1} + f1 \right] \right\}$$

$$X_i(k, t+1) = \left\{ X_i(k, t) + \frac{1}{B} [x_i(t+N) - x_i(t)] \right\} \\ \times \cos \left\{ 2 \frac{\pi}{fs} \left[\frac{(f2-f1)k}{N-1} + f1 \right] \right\} \\ - \left\{ X_r(k, t) + \frac{1}{B} [x_r(t+N) - x_r(t)] \right\} \\ \times \sin \left\{ 2 \frac{\pi}{fs} \left[\frac{(f2-f1)k}{N-1} + f1 \right] \right\}$$

【0039】

により得る第4のステップ(13)と、

より複素逆フーリエ係数を得ることを特徴とする再帰型逆離散フーリエ変換方法。

【0040】

5) 上記1)、又は2)項に記載の再帰型離散フーリエ変換方法は、

時刻tにおいて供給されるデータ値 $y_r(t) + jy_i(t)$ と、時刻t+Nにおいて供給されるデータ値 $y_r(t+N) + jy_i(t+N)$ と、時刻tから時刻t+N-1の間に供給されたN個のデータ値 $y_r(t) + jy_i(t)$ 、 $y_r(t+1) + jy_i(t+1)$ 、 \dots 、 $y_r(t+N-1) + jy_i(t+N-1)$ に対して得た実数部と虚数部の複素逆離

散フーリエ係数 $Y_r(k, t)$ 、及び $Y_i(k, t)$ とを用い、

時刻 $t + 1$ から供給される N 個のデータ値に対する複素逆離散フーリエ係数の実数部 $Y_r(k, t+1)$ 、及び虚数部 $Y_i(k, t+1)$ を、前記 $y_r(t+N)$ と、前記 $y_i(t)$ との差の値に対する振幅値を与えるための正の定数値 B に対して、

【0041】

【数11】

$$Y_r(k, t+1) = \left\{ Y_r(k, t) + \frac{1}{B} [Y_r(t+N) - Y_r(t)] \right\} \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \\ + \left\{ Y_i(k, t) + \frac{1}{B} [y_i(t+N) - y_i(t)] \right\} \sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right]$$

$$Y_i(k, t+1) = \left\{ Y_i(k, t) + \frac{1}{B} [y_i(t+N) - y_i(t)] \right\} \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \\ - \left\{ Y_r(k, t) + \frac{1}{B} [y_r(t+N) - y_r(t)] \right\} \sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right]$$

【0042】

により逆離散フーリエ変換データを得るとともに、その得られた逆離散フーリエ変換データが供給され、その供給された逆離散フーリエ変換データに対する離散フーリエ変換を行なう再帰型離散フーリエ変換方法であって、

その再帰型離散フーリエ変換は、前記逆離散フーリエ変換時に用いられた定数値 B に相对应する定数値 A を用いて離散フーリエ変換を行なうことを特徴とする再帰型離散フーリエ変換方法。

【0043】

6) 前記複素フーリエ係数の次数を示す k を所望の値に設定し、その設定した k の値に対するフーリエ変換を、前記間隔が一定である時刻毎に繰り返して行うことを特徴とする1)、又は2)項に記載の再帰型離散フーリエ変換方法。

【0044】

7) 前記複素フーリエ係数の次数を示す k を所望の値に設定し、その設定した

k の値に対する逆フーリエ変換を、前記間隔が一定である時刻毎に繰り返して行うことを特徴とする 3)、又は 4) 項に記載の再帰型逆離散フーリエ変換方法。

【0045】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の再帰型離散フーリエ変換方法、及び再帰型逆離散フーリエ変換方法の実施の形態につき、好ましい実施例により説明する。

図 1 は、その再帰型離散フーリエ変換方法を適応した再帰型離散フーリエ変換装置の実施例を示したものであり、同図と共に説明する。

【0046】

この再帰型離散フーリエ変換装置は一定時間間隔でサンプリングされたデータが供給され、供給された最新の N 個 (N は正の整数) のデータを一時記憶するデータ更新部 1 と、離散フーリエ変換を行なうための基底周波数を設定する基底周波数設定部 2 と、再帰型 DFT (Discrete Fourier Transform) 演算を行なう再帰型 DFT 演算部 3 と、演算されたデータを一時記憶するメモリ部 4 とより構成される。

【0047】

次に、この様に構成される再帰型離散フーリエ変換装置の動作について説明する。

まず、供給される複素データは図示しないサンプリング回路により一定時間間隔でサンプリングされ、サンプリングされて量子化された実数部、及び虚数部の離散データがデータ更新部 1 に供給される。

【0048】

そのサンプリング回路は、間隔が一定である時刻 t 、 $t+1$ 、 $t+2$ 、 $t+3$ 、 \dots 、 $t+N-1$ 、 $t+N$ (N は自然数) において供給されるデータ値のサンプリングを行ない、その時刻に供給されているデータ値をそれぞれの時刻に対応したサンプリング値としてデータ列 $x_r(t) + jx_i(t)$ 、 $x_r(t+1) + jx_i(t+1)$ 、 $x_r(t+2) + jx_i(t+2)$ 、 $x_r(t+3) + jx_i(t+3)$ 、 \dots 、 $x_r(t+N-1) + jx_i(t+N-1)$ 、 $x_r(t+N) + jx_i(t+N)$ を生成する。

【0049】

このサンプリング回路の動作は、供給されるアナログ信号をデジタル信号に変換するA/D変換器の動作と同様であり、サンプリング周波数の逆数で与えられる一定時間間隔で、供給される複素アナログ信号電圧値を実数部、及び虚数部のデジタル信号値に変換するものであり、変換されたデジタル信号値は2系統のパルス振幅変調信号を与えるアナログ電圧と相似の関係にある電圧であったり、あるいはその電圧値を2進数の複素デジタル値で表現するものであったりする。

【0050】

このようにして、データ更新部1には、時刻 t でサンプリングされたサンプリングデータ $x_r(t) + jx_i(t)$ 、時刻 $t+1$ における $x_r(t+1) + jx_i(t+1)$ 、
 \dots 、時刻 $t+N-1$ における $x_r(t+N-1) + jx_i(t+N-1)$ 、時刻 $t+N$ における $x_r(t+N) + jx_i(t+N)$ 、 \dots が供給される。

【0051】

データ更新部1は、供給されるデータのうち、最新に供給されるデータ数 N 個(N は正の整数)の複素データを更新しつつ一時記憶する。

即ち、供給されるデータが $x_r(t) + jx_i(t)$ より開始され、 $x_r(t+1) + jx_i(t+1)$ 、 $x_r(t+2) + jx_i(t+2)$ 、 $x_r(t+3) + jx_i(t+3)$ のように供給されるときは、供給されたデータ $x_r(t) + jx_i(t)$ 、 $x_r(t+1) + jx_i(t+1)$ 、 $x_r(t+2) + jx_i(t+2)$ 、 $x_r(t+3) + jx_i(t+3)$ の全てを一時記憶し、その一時記憶の動作はデータ $x_r(t+N-1) + jx_i(t+N-1)$ が入来するまで継続し、 $x_r(t+N-1) + jx_i(t+N-1)$ のデータが入来した段階で総データ数は N 個となりデータ更新部のデータ領域がフルとなる。

【0052】

このような状態で、次のデータ $x_r(t+N) + jx_i(t+N)$ が供給されるときは、総データ数が $N+1$ 個となるため、データ更新部1は $x_r(t+N) + jx_i(t+N)$ より $x_r(t) + jx_i(t)$ を減算し、減算して得られるデータを再帰型DFT演算部3に供給するとともに、一番古いデータ $x_r(t) + jx_i(t)$ をメモリ部より削除し、データ更新部1は $x_r(t+1) + jx_i(t+1)$ 、 $x_r(t+2) + jx_i(t+2)$ 、 \dots 、 $x_r(t+N-1) + jx_i(t+N-1)$ 、 $x_r(t+N) + jx_i(t+N)$ の N 個のデータを一時記憶する。

【0053】

同様にして、データ更新部1は、次のデータ $x_r(t+N+1) + jx_i(t+N+1)$ が供給されるときはデータ $x_r(t+N+1) + jx_i(t+N+1) - [x_r(t+1) + jx_i(t+1)]$ を求めて再帰型DFT演算部に供給するとともに、 $x_r(t+1) + jx_i(t+1)$ をメモリより削除するようにし、常に供給されるデータのうち、最新のN個のデータをデータ更新部1に一時記憶されるようにする。

【0054】

このようにして、一時記憶されるN個のデータは再帰型DFT演算部に供給され、その再帰型DFT演算部は基底周波数設定部2で設定される周波数解像度情報に従って、及びメモリ回路4に一時記憶された前回のFFT演算結果は再起型DFTに再帰データとして供給され、後述の方法により再帰型離散フーリエ変換演算が行なわれ、その演算結果が出力されるようになされている。

【0055】

次に、この再帰型離散フーリエ演算処理方法について、従来から行なわれているフーリエ演算処理をも参照しつつ、さらに詳細に説明する。

図2に、供給される信号波形をサンプリング期間 t_s でサンプリングして得られるデータ値と、それに対するDFT演算の関係を模式的に示し、説明する。

【0056】

同図において、任意の時間 t より一定のサンプリング期間でサンプリングされたデータ値 $x(n)$ は複素数であり、 $x(n) = x_r(n) + jx_i(n)$ である。すなわち、時刻 t より、 $x(t)$ 、 $x(t+1)$ 、 $x(t+2)$ 、 $x(t+3)$ 、 \dots 、 $x(t+N-1)$ のデータ列が、また時間 $t+1$ よりN個の複素データ、 $x(t+1)$ 、 $x(t+2)$ 、 $x(t+3)$ 、 \dots 、 $x(t+N-1)$ 、 $x(t+N)$ が供給されている。

【0057】

そして、その時間 t よりサンプリングされて供給されたN個の複素データ値で示される複素データ列に対して求められる離散フーリエ変換の値 $X(k, t)$ は次式により定義される。

【0058】

【数 12】

$$\begin{aligned}
X(k,t) &= \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} x(n) \exp \left\{ -j2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right\} \quad \dots \text{式(2)} \\
&= \left\{ \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} x_r(n) \cos \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \right. \\
&\quad \left. + \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} x_i(n) \sin \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \right\} \\
&\quad + j \left\{ -\frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} x_r(n) \sin \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \right. \\
&\quad \left. + \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} x_i(n) \cos \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \right\} \\
&= X_r(k,t) + jX_i(k,t)
\end{aligned}$$

for $k = 0, 1, \dots, N-1$

【0059】

このようにして定義された、任意の時間 t より供給されたサンプリング複素データ列を、 $x(t)$ から $x(t+N-1)$ までとするときの実数部 $X_r(k, t)$ 、及び虚数部 $X_i(k, t)$ の変換を次のように定義する。

【0060】

【数 1 3】

$$X_r(k, t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} x_r(n) \cos \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] + \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} x_i(n) \sin \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \quad \dots \text{式 (3)}$$

$$X_i(k, t) = -\frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} x_r(n) \sin \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] + \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} x_i(n) \cos \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \quad \dots \text{式 (4)}$$

for $k = 0, 1, \dots, N-1$

【0061】

さらに、式(3)、(4)において媒介変数として $X_{rr}(k, t)$ 、 $X_{ir}(k, t)$ 、 $X_{ri}(k, t)$ 、 $X_{ii}(k, t)$ を導入し、次のように定義する。

【0062】

【数 1 4】

$$X_{rr}(k, t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} x_r(n) \cos \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \quad \dots \text{式(5)}$$

$$X_{ir}(k, t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} x_i(n) \sin \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \quad \dots \text{式(6)}$$

$$X_{ri}(k, t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} x_r(n) \sin \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \quad \dots \text{式(7)}$$

$$X_{ii}(k, t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} x_i(n) \cos \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \quad \dots \text{式(8)}$$

【0063】

すなわち、時間 t におけるフーリエ変換を示すDFT (Discrete Fourier Transform ; 離散フーリエ変換) の定義式(2)は式(3)～式(8)を用いて以下の関係を有することになる。

【0064】

【数15】

$$\begin{aligned} X(k, t) &= X_r(k, t) + jX_i(k, t) \\ &= \{X_{rr}(k, t) + X_{ir}(k, t)\} \\ &\quad + j\{-X_{ri}(k, t) + X_{ii}(k, t)\} \end{aligned} \quad \dots \text{式(9)}$$

【0065】

ここでまず、実数部への入力 $x_r(n)$ に対する変換 $X_{rr}(k, t)$ と $X_{ri}(k, t)$ について検討する。式(5)において、前述の図2に示すように時間 $t+1$ において、今新たにデータ $x_r(t+N)$ が供給されると、 $X_{rr}(k, t)$ は次式で表されるように更新される。

【0066】

【数16】

$$\begin{aligned} X_{rr}(k, t+1) &= \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t+1}^{t+N} x_r(n) \cos \left[2(n-t-1) \frac{\pi k}{N} \right] \\ &= \frac{1}{\sqrt{N}} \left\{ \sum_{n=t+1}^{t+N} x_r(n) \cos \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \right. \\ &\quad \left. + \sum_{n=t+1}^{t+N} x_r(n) \sin \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \right\} \end{aligned} \quad \dots \text{式(10)}$$

【0067】

ここで、最も古いデータである $x_r(t)$ を消去し、最も新しいデータである $x_r(t+N)$ を取り入れると考えることにより、 $X_{rr}(k, t)$ と $X_{ri}(k, t)$ を用いて $X_{rr}(k, t+1)$ を表すことが出来、結果的に、式(5)は次のようになる。

【0068】

【数 17】

$$\begin{aligned}
 X_{rr}(k, t+1) = & \left\{ X_{rr}(k, t) + \frac{1}{\sqrt{N}} [x_r(t+N) - x_r(t)] \right\} \\
 & \times \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] + X_{ri}(k, t) \sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \dots \dots \text{式 (11)}
 \end{aligned}$$

【0069】

同様に、式(7)の $X_{ri}(k, t)$ についても新たにデータ $x(t+N)$ が供給されると、次式で表されるように更新される。

【0070】

【数 18】

$$\begin{aligned}
 X_{ri}(k, t+1) = & \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t+1}^{t+N} x_r(n) \sin \left[2(n-t-1) \frac{\pi k}{N} \right] \\
 = & \frac{1}{\sqrt{N}} \left\{ \sum_{n=t+1}^{t+N} x_r(n) \sin \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \right. \\
 & \left. - \sum_{n=t+1}^{t+N} x_r(n) \cos \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \right\} \dots \dots \text{式 (12)}
 \end{aligned}$$

【0071】

そして、最も古いデータである $x_r(t)$ を消去し、最も新しいデータである $x_r(t+N)$ を取り入れると考えることにより、 $X_{rr}(k, t)$ と $X_{ri}(k, t)$ を用いて $X_{ri}(k, t+1)$ を表すことが出来、その結果、(7)式は以下のようなになる。

【0072】

【数 19】

$$X_{ri}(k, t+1) = X_{ri}(k, t) \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] - \left\{ X_{rr}(k, t) + \frac{1}{\sqrt{N}} [x_r(t+N) - x_r(t)] \right\} \sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \quad \dots \text{式 (13)}$$

【0073】

さらに、虚数部への入力 $x_i(n)$ に対する変換 $X_{ir}(k, t)$ と $X_{ii}(k, t)$ についても同様にして、 $X_{ir}(k, t)$ と $X_{ii}(k, t)$ を用いて $X_{ir}(k, t+1)$ と $X_{ii}(k, t+1)$ をそれぞれ表すことが出来、その結果として式(6)、(8)を次のように表すことが出来る。

【0074】

【数 20】

$$X_{ir}(k, t+1) = X_{ir}(k, t) \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] - \left\{ X_{ii}(k, t) + \frac{1}{\sqrt{N}} [x_i(t+N) - x_i(t)] \right\} \sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \quad \dots \text{式 (14)}$$

$$X_{ii}(k, t+1) = \left\{ X_{ii}(k, t) + \frac{1}{\sqrt{N}} [x_i(t+N) - x_i(t)] \right\} \times \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] + X_{ir}(k, t) \sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \quad \dots \text{式 (15)}$$

【0075】

このようにして、 $X_{rr}(k, t+1)$ 、 $X_{ir}(k, t+1)$ 、 $X_{ri}(k, t+1)$ 、 $X_{ii}(k, t+1)$ のそれぞれを前サンプリング時間における $X_{rr}(k, t)$ 、 $X_{ir}(k, t)$ 、 $X_{ri}(k, t)$ 、 $X_{ii}(k, t)$ を用いて式(12)～(15)のように再帰的に表

現できることを示した。

【0076】

次に、時間 $t+1$ におけるフーリエ変換を示すDFTの定義式を前述の式(9)を基に表すと次のようになる。

【0077】

【数21】

$$\begin{aligned} X(k, t+1) &= X_r(k, t+1) + jX_i(k, t+1) \\ &= \{X_{rr}(k, t+1) + X_{ir}(k, t+1)\} \\ &\quad + j\{-X_{ri}(k, t+1) + X_{ii}(k, t+1)\} \\ &\quad \dots \text{式 (16)} \end{aligned}$$

【0078】

この式(16)に、以上のようにして求められた式(12)～(15)を代入して変形することにより時間 $t+1$ におけるフーリエ係数 $X_r(k, t+1) + jX_i(k, t+1)$ について次の式(17)及び(18)を導くことが出来る。

【0079】

【数 2 2】

$$\begin{aligned}
 X_r(k, t+1) = & \left\{ X_r(k, t) + \frac{1}{A} [x_r(t+N) - x_r(t)] \right\} \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \\
 & - \left\{ X_i(k, t) + \frac{1}{A} [x_i(t+N) - x_i(t)] \right\} \sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \\
 & \dots \dots \text{式(17)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_i(k, t+1) = & \left\{ X_i(k, t) + \frac{1}{A} [x_i(t+N) - x_i(t)] \right\} \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \\
 & + \left\{ X_r(k, t) + \frac{1}{A} [x_r(t+N) - x_r(t)] \right\} \sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \\
 & \dots \dots \text{式(18)}
 \end{aligned}$$

(ただし、 $A = \sqrt{N}$, $0 \leq k \leq N-1$)

【0080】

このようにして、 $X_r(k, t+1)$ 、及び $X_i(k, t+1)$ が求められたが、本来的に DFT 演算は、有限なポイント数 N に対して処理を行う FIR フィルタ（非巡回型フィルタ）であると考えている。

しかし、このようにして求められた変換式(17)、(18)の場合は、それらの式からも明らかのように、現サンプリング時間における DFT 変換を、前サンプリング時間に求められた DFT 変換の結果を用いて導くようになされておるため、ここに示した変換は IIR フィルタ（巡回型フィルタ）により実現していることとなり、従って FIR フィルタで構成するよりもはるかにハードウェアの複雑さを軽減することができている。

【0081】

以上述べたように、これらの変換式(17)、(18)により行なわれる再帰型 DFT 変換は、前述の図 2 に示したようなサンプリング時間間隔で逐次サンプリングされる新たなデータを含む最新の N ポイントの複素サンプル値に対して、複素フーリエ変換を行うことができるものである。

【 0 0 8 2 】

さて、次に、このようにしてなされる離散フーリエ変換の技術を応用して実現した第2の実施例である逆離散フーリエ変換について述べる。

【 0 0 8 3 】

図3は、その再帰型逆離散フーリエ変換方法を適応した再帰型逆離散フーリエ変換装置の実施例を示したものであり、同図と共に説明する。

【 0 0 8 4 】

この再帰型逆離散フーリエ変換装置は一定時間間隔でサンプリングされたデータが供給され、供給された最新のN個（Nは正の整数）のデータを一時記憶するデータ更新部11と、逆離散フーリエ変換を行なうための基底周波数を設定する基底周波数設定部12と、再帰型IDFT（Inverse Discrete Fourier Transform）演算を行なう再帰型IDFT演算部13と、演算されたデータを一時記憶するメモリ部14とより構成される。

【 0 0 8 5 】

この様にして構成される再帰型逆離散フーリエ変換装置の動作について説明する。

まず、供給される複素データは図示しないサンプリング回路により一定時間間隔でサンプリングされ、サンプリングされて量子化された実数部、及び虚数部の離散データがデータ更新部11に供給される。

【 0 0 8 6 】

そのサンプリング回路は、間隔が一定である時刻 t 、 $t+1$ 、 $t+2$ 、 $t+3$ 、 \dots 、 $t+N-1$ 、 $t+N$ （Nは自然数）において供給されるデータ値のサンプリングを行ない、その時刻に供給されているデータ値をそれぞれの時刻に対応したサンプリング値としてデータ列 $x_r(t) + jx_i(t)$ 、 $x_r(t+1) + jx_i(t+1)$ 、 $x_r(t+2) + jx_i(t+2)$ 、 $x_r(t+3) + jx_i(t+3)$ 、 \dots 、 $x_r(t+N-1) + jx_i(t+N-1)$ 、 $x_r(t+N) + jx_i(t+N)$ を生成する。

【 0 0 8 7 】

このようにして、データ更新部11には、時刻 t でサンプリングされたサンプリングデータ $x_r(t) + jx_i(t)$ 、時刻 $t+1$ における $x_r(t+1) + jx_i(t+1)$ 、

．．．．．、時刻 $t+N-1$ における $x_r(t+N-1) + jx_i(t+N-1)$ 、時刻 $t+N$ における $x_r(t+N) + jx_i(t+N)$ 、．．．．．が供給され、データ更新部 1 1 は、供給されるデータのうち、最新に供給されるデータ数 N 個（ N は正の整数）の複素データを更新しつつ一時記憶する。

【 0 0 8 8 】

このようにして、一時記憶された N 個のデータは再帰型 I D F T 演算部に供給され、その再帰型 I D F T 演算部は基底周波数設定部 1 2 で設定される周波数解像度情報に従って、及びメモリ回路 4 に一時記憶された前回の F F T 演算結果は再起型 D F T に再帰データとして供給され、後述の方法により再帰型離散フーリエ変換演算が行なわれ、その演算結果が出力されるようになされている。

【 0 0 8 9 】

そして、再帰型 I D F T 演算部 1 3 により演算された逆離散フーリエ変換された演算結果はメモリ部 1 4 に供給されて一時記憶され、一時記憶された演算結果は再帰型 I D F T 演算部 1 3 に供給され、ここでは次に供給されるデータの I D F T 演算を行なわれるなど、I D F T 演算結果は再帰的に使用されるようになされている。

【 0 0 9 0 】

つぎに、その再帰的に行なう I D F T の演算について詳細に述べる。

任意の時間 t における逆フーリエ変換 $X(k, t)$ は次に示す式 (19) により定義される。

【 0 0 9 1 】

【数 23】

$$\begin{aligned}
X(k, t) &= \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} x(n) \exp \left\{ j 2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right\} \quad \dots \text{式 (19)} \\
&= \left\{ \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} x_r(n) \cos \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \right. \\
&\quad \left. - \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} x_i(n) \sin \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \right\} \\
&\quad + j \left\{ \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} x_r(n) \sin \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \right. \\
&\quad \left. + \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} x_i(n) \cos \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \right\} \\
&= X_r(k, t) + j X_i(k, t)
\end{aligned}$$

for $k = 0, 1, \dots, N-1$

【0092】

ここで、供給されるデータ列 $x(n)$ は複素数であり、 $x(n) = x_r(n) + j x_i(n)$ と示される数である。

再帰型逆離散フーリエ変換は、このようにして供給される N 個の複素データに対して行なわれ、その演算方法は前述の再帰型 DFT 変換方法と同様の処理により行われる。

【0093】

その演算は、サンプリング時間 $t+1$ のときに新たにサンプリングされ取り込まれる複素データ $x_r(t+N) + j x_i(t+N)$ と、 N 個のデータ列のうち最も古い複素データ $x_r(t) + j x_i(t)$ との差と、既に求められているサンプリング時間 t における複素フーリエ係数 $X_r(k, t) + j X_i(k, t)$ を用いることによって、サンプリング時間 $t+1$ における複素フーリエ係数 $X_r(k, t+1) + j X_i(k, t+1)$ を次に示す式 (20) 及び (21) により得ることが出来る。

【0094】

【数24】

$$\begin{aligned}
 X_r(k, t+1) = & \left\{ X_r(k, t) + \frac{1}{A} [x_r(t+N) - x_r(t)] \right\} \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \\
 & + \left\{ X_i(k, t) + \frac{1}{A} [x_i(t+N) - x_i(t)] \right\} \sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \\
 & \dots \dots \text{式(20)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_i(k, t+1) = & \left\{ X_i(k, t) + \frac{1}{A} [x_i(t+N) - x_i(t)] \right\} \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \\
 & - \left\{ X_r(k, t) + \frac{1}{A} [x_r(t+N) - x_r(t)] \right\} \sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \\
 & \dots \dots \text{式(21)}
 \end{aligned}$$

(ただし、 $A = \sqrt{N}$, $0 \leq k \leq N-1$)

【0095】

このようにして、再帰型IDFT変換がなされるが、逆フーリエ変換についても、前述の図2に示したようなサンプリング時間間隔で逐次サンプリングされる新たなデータを含む最新のNポイントのデータ列に対して、フーリエ変換と同様にして逆フーリエ変換を行うことができる。

【0096】

以上、供給されるデータ列に対し、サンプリング時間間隔で連続的にフーリエ変換処理、及び逆フーリエ変換処理を行えることを述べたが、供給されるデータ列の長さを可変し、フーリエ変換、及び逆フーリエ変換（フーリエ変換の技術は同様にして逆フーリエ変換に応用することができるが、煩雑を避けるため以下フーリエ変換の方を中心として記述する）による解析解像度を任意に設定して行う再帰型離散フーリエ変換方法を実現することが出来る。

【0097】

それは、DFTにより分析して得た結果を用いて適応的な信号処理を行う場合、あるいは対象とする制御系の制御を行う場合など、目的に応じた分析結果を得

るため、その離散フーリエ変換を任意の周波数帯域における任意の解像度（周波数間隔）で解析出来ることが必要となる。

【 0 0 9 8 】

図 4 に、目的とする離散フーリエ解析により得るべき周波数の関係を示す。

同図において、解析すべき周波数帯域の最低周波数を f_1 、最高周波数を f_2 とし、その f_1 と f_2 の間を N ポイントの解像度を有する再帰型離散フーリエ変換を行う方法について述べる。

【 0 0 9 9 】

その解像度の設定は、前述の図 1 に示した再帰型離散フーリエ変換装置に示した基底周波数設定部 2 で行われ、ここで設定された解像度情報に基づいて、再帰型 DFT 演算部 3 は解析する任意の周波数帯域の最低周波数 f_1 と最高周波数 f_2 、及びそれらの周波数 f_1 と f_2 の間を N 分割した値で示す所望の解像度（周波数間隔）を N ポイントとするフーリエ変換を行うものである。

【 0 1 0 0 】

このようにして行う、所望する任意の周波数帯域について所望する解像度を有して離散フーリエ変換演算をサンプリング時間間隔毎に行う方法について詳述する。

【 0 1 0 1 】

再帰型離散フーリエ変換を行うときに使用する式(17)、及び式(18)において、三角関数で示される $\cos(2\pi k/N)$ 、及び $\sin(2\pi k/N)$ は、演算により求めるべき解析ポイント数 N に関する基底関数を表している。

【 0 1 0 2 】

従って、これらの三角関数中に示される基底周波数に関する k/N を所望する周波数帯域に一致するように、 f_1 、 f_2 、及び f_s の値を設定する。

ここで、最低周波数 f_1 に相当する基底関数の基底周波数 α を、 $\alpha = f_1/f_s$ とし、最高周波数 f_2 に相当する基底関数の基底周波数 β を $\beta = f_2/f_s$ とする。

【 0 1 0 3 】

そして、解像度を N ポイントとするとき、周波数帯域 $f_1 \sim f_2$ における基底周波数は

【0104】

【数25】

$$\left(\frac{\beta-\alpha}{N-1}\right)^{k+\alpha} \dots\dots\dots \text{式(22)}$$

(ただし、 $0 \leq k \leq N-1$)

【0105】

となり、従って、式(17)、及び式(18)における基底周波数 k/N を次の式(23)で置きかえることにより、解析を所望する任意の周波数帯域について、所望する任意の解像度を有して変換を行うのに適した再帰型フーリエ変換の式を得ることが出来る。

【0106】

【数26】

$$\frac{1}{fs} \left\{ \frac{(f2-f1)k}{N-1} + f1 \right\} \dots\dots\dots \text{式(23)}$$

(ただし、 $0 \leq k \leq N-1$)

【0107】

その、任意の周波数解像度により変換を行なうための式を式(24)、及び式(25)として示す。

【0108】

【数 27】

$$\begin{aligned}
X_r(k, t+1) = & \left\{ X_r(k, t) + \frac{1}{A} [x_r(t+N) - x_r(t)] \right\} \\
& \times \cos \left\{ 2 \frac{\pi}{fs} \left[\frac{(f2-f1)k}{N-1} + f1 \right] \right\} \\
& - \left\{ X_i(k, t) + \frac{1}{A} [x_i(t+N) - x_i(t)] \right\} \\
& \times \sin \left\{ 2 \frac{\pi}{fs} \left[\frac{(f2-f1)k}{N-1} + f1 \right] \right\} \\
& \dots \dots \text{式(24)}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
X_i(k, t+1) = & \left\{ X_i(k, t) + \frac{1}{A} [x_i(t+N) - x_i(t)] \right\} \\
& \times \cos \left\{ 2 \frac{\pi}{fs} \left[\frac{(f2-f1)k}{N-1} + f1 \right] \right\} \\
& + \left\{ X_r(k, t) + \frac{1}{A} [x_r(t+N) - x_r(t)] \right\} \\
& \times \sin \left\{ 2 \frac{\pi}{fs} \left[\frac{(f2-f1)k}{N-1} + f1 \right] \right\} \\
& \dots \dots \text{式(25)}
\end{aligned}$$

【0109】

このように、解析のための解像度を任意に設定する再帰型離散フーリエ変換演算を行うことができるが、そのフーリエ変換処理は新しく供給されるサンプル値毎に、式(24)、及び式(25)を用いて行うことができ、その演算処理はkの値を0、1、2、・・・、N-1と変えて行うことにより、それぞれのkの値に応じて設定される各基底周波数における変換処理結果を得ることができる。

【0110】

以上、再帰型離散フーリエ変換演算を中心として述べたが、再帰型逆離散フーリエ変換演算の場合の変換は、再帰型離散フーリエ変換演算は前述の式(17)、及び(18)により行なわれるのに対して再帰型逆離散フーリエ変換演算は前述の

式 (20)、及び (21) により行なわれる。

【 0 1 1 1 】

そしてこれらの式を比較するに、符号がそれぞれ 1 個所づつ異なっているのみで他は同一に示されていることからわかるように、上述と同様にして再帰型逆離散フーリエ変換の場合においても解析のための解像度を任意に設定する再帰型逆離散フーリエ変換演算を行うことができるものである。

【 0 1 1 2 】

その、任意の周波数解像度により逆変換を行なうための式を式 (26)、及び式 (27) として示す。

【 0 1 1 3 】

【数 2 8】

$$\begin{aligned}
 X_r(k, t+1) = & \left\{ X_r(k, t) + \frac{1}{A} [x_r(t+N) - x_r(t)] \right\} \\
 & \times \cos \left\{ 2 \frac{\pi}{fs} \left[\frac{(f2-f1)k}{N-1} + f1 \right] \right\} \\
 & + \left\{ X_i(k, t) + \frac{1}{A} [x_i(t+N) - x_i(t)] \right\} \\
 & \times \sin \left\{ 2 \frac{\pi}{fs} \left[\frac{(f2-f1)k}{N-1} + f1 \right] \right\}
 \end{aligned}
 \quad \dots \dots \text{式(26)}$$

$$\begin{aligned}
 X_i(k, t+1) = & \left\{ X_i(k, t) + \frac{1}{A} [x_i(t+N) - x_i(t)] \right\} \\
 & \times \cos \left\{ 2 \frac{\pi}{fs} \left[\frac{(f2-f1)k}{N-1} + f1 \right] \right\} \\
 & - \left\{ X_r(k, t) + \frac{1}{A} [x_r(t+N) - x_r(t)] \right\} \\
 & \times \sin \left\{ 2 \frac{\pi}{fs} \left[\frac{(f2-f1)k}{N-1} + f1 \right] \right\}
 \end{aligned}
 \quad \dots \dots \text{式(27)}$$

【0114】

そしてまた、これらの再帰型離散フーリエ変換演算、及び再帰型逆離散フーリエ変換演算を行う変換式は、ある特定の k の値により設定される基底周波数は、他の k の値により設定される基底周波数の分析に対して関連することなく独立に変換処理結果を得ることが出来るため、任意の k の値に関連する特定の基底周波数に対するフーリエ変換演算、及びフーリエ逆変換演算結果を単独に求めることも可能である。

【0115】

そして、特定の周波数ポイントに着目したとき、すなわち k を特定の値としたとき、式(24)、及び式(25)中にある三角関数の値は定数となるため、従来から用いられている前述の離散フーリエ変換の定義式(1)を用いて特定の基底関数に関するフーリエ変換よりも容易にその基底関数に関するフーリエ演算結果を得ることが出来る。

【0116】

この特定の基底関数に関する信号成分の演算処理は、バタフライ演算を用いるFFTの場合ではさらに困難であるため、ここに示した再帰型離散フーリエ変換方法、及び再帰型逆離散フーリエ変換方法は、今後ますます多様的に使用される信号解析手法、及び信号生成方法などを用いる分野において幅広い応用が期待されるものである。

【0117】

以上、再帰型離散フーリエ変換方法、及び再帰型逆離散フーリエ変換方法について述べたが、これらの変換方法は解析を所望する基底周波数を選択して行えることから、FFTのように取り扱うポイント数が2の冪乗に制限されることはなく、任意の正の整数値を取り得るものである。

【0118】

【発明の効果】

請求項1記載の発明によれば、供給される N 個の複素データよりなるデータ列に対してフーリエ変換を行い、フーリエ変換を行なった結果と、次に供給される新しい複素データのデータ値と、既にフーリエ変換を行うために使用した最も古

い複素データ値を基にして新しいN個の複素データに対するフーリエ演算結果を得ることができるため、従来の様にNサンプルのデータが供給されてからフーリエ演算を行うのと異なり、1複素データ期間内に高速にフーリエ演算結果を容易に得ることが出来る効果を有している。

【0119】

また、請求項2記載の発明によれば、供給されるN個の複素データよりなるデータ列に対してフーリエ変換を行い、フーリエ変換を行なった結果と、次に供給される新しい複素データのデータ値と、既にフーリエ変換を行うために使用した最も古い複素データ値を基にして新しいN個の複素データに対するフーリエ演算結果を求めるに際し、フーリエ変換を行なうための周波数範囲を予め f_1 、及び f_2 により設定し、また解像度をNにより設定した基底周波数を用いてフーリエ演算を行うため、従来の様にNサンプルのデータが供給されてからフーリエ演算を行うときに一義的に周波数範囲と分解能が設定されてしまうのと異なり、任意の周波数範囲と分解能に対するフーリエ演算結果を、1サンプル期間内に高速に、且つ容易に得ることが出来る効果を有している。

【0120】

そして請求項3記載の発明によれば、供給されるN個の複素データよりなるデータ列に対して逆フーリエ変換を行い、逆フーリエ変換を行なった結果と、次に供給される新しい複素データのデータ値と、既に逆フーリエ変換を行うために使用した最も古い複素データ値を基にして新しいN個の複素データに対する逆フーリエ演算結果を求めることができるため、従来の様にNサンプルのデータが供給されてから逆フーリエ演算を行うのと異なり、1複素データ期間内に高速に逆フーリエ演算結果を容易に得ることが出来る効果を有している。

【0121】

そしてまた、請求項4記載の発明によれば、供給されるN個の複素データよりなるデータ列に対して逆フーリエ変換を行い、逆フーリエ変換を行なった結果と、次に供給される新しい複素データのデータ値と、既に逆フーリエ変換を行うために使用した最も古い複素データ値を基にして最新に供給されるN個の複素データに対する逆フーリエ演算結果を求めるに際し、逆フーリエ変換を行なうための

周波数範囲を予め f_1 、及び f_2 により設定し、また解像度を N により設定した基底周波数を用いて逆フーリエ演算を行うため、従来の様に N サンプルのデータが供給されてから逆フーリエ演算を行うときに一義的に周波数範囲と分解能が設定されてしまうのとは異なり、任意の周波数範囲と分解能に対する逆フーリエ演算結果を、1サンプル期間内に高速に、しかも容易に得ることが出来る効果を有している。

【 0 1 2 2 】

また、請求項5記載の発明によれば、請求項1及び請求項2の効果に加え、特に正の定数値 A を1、 N 、又は N の平方根などの値に設定してフーリエ変換を行なうことが出来るので、例えば通信装置に用いられ、伝送すべき情報信号をIFFT（逆高速フーリエ変換）処理して時系列信号に変換し、その時系列信号を伝送するような場合、その伝送された信号をFFTに供給してFFT演算を行うことにより情報信号を得るようなフーリエ演算方法において、そのIFFT演算に使用された、例えば1、 N 、又は N の平方根の数である B の定数値に対応する定数値 A を、 N 、1、又は N の平方根の数としてFFT演算処理回路に用いて、前記IFFTと相補的に動作するFFTを構成して前記情報信号を復号することができるなど、相対応する系から供給される信号に対しても、その系でのIFFT演算に使用された定数値 B に対応する定数値 A を用いることにより、品質の良い特性を有するフーリエ変換処理を用いる系を構築することができるなどの効果がある。

【 0 1 2 3 】

さらにまた、請求項6記載の発明によれば、請求項1、及び2の効果に加え、特に k の値を特定の値に設定することにより、 k の値で定められた特定の周波数に対するフーリエ変換を短時間で行なうことができるため、その特定の周波数のフーリエ変換結果を用いて制御する系があるとき、その系の制御を最小の遅延時間で行なうように構成することが出来るなど、システム全体の応答特性を改善することができるので、さらに応答特性が短時間であり、品質の良い特性を有する系を構築することができる効果がある。

【 0 1 2 4 】

そしてまた、請求項 7 記載の発明によれば、請求項 3、及び 4 の効果に加え、特に k の値を特定の値に設定することにより、 k の値で定められた特定の周波数に対する逆フーリエ変換を短時間で行なうことができるため、例えばその特定の周波数の逆フーリエ変換結果を用いて信号を生成するような系があるとき、その系の動作を最小の遅延時間で行なうように構成することが出来るなど、システム全体の応答特性を改善することができるので、さらに応答特性が短時間であり、品質の良い特性を有する系を構築することができる効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の実施例に関わる再帰型離散フーリエ変換装置の概略構成を示す図である。

【図 2】

本発明の実施例に関わる再帰型離散フーリエ変換装置に供給される信号波形をサンプリングして得られるデータ値と、それに対する D F T 演算の関係を模式的に示した図である。

【図 3】

本発明の実施例に関わる再帰型逆離散フーリエ変換装置の概略構成を示す図である。

【図 4】

本発明の実施例に関わる再帰型離散フーリエ変換装置における解析周波数範囲、及び解像度の設定に関する周波数関係を示す図である。

【符号の説明】

- 1 データ更新部
- 2 基底周波数設定部
- 3 再帰型 D F T 演算部
- 4 メモリ部
- 1 1 データ更新部
- 1 2 基底周波数設定部
- 1 3 再帰型 I D F T 演算部

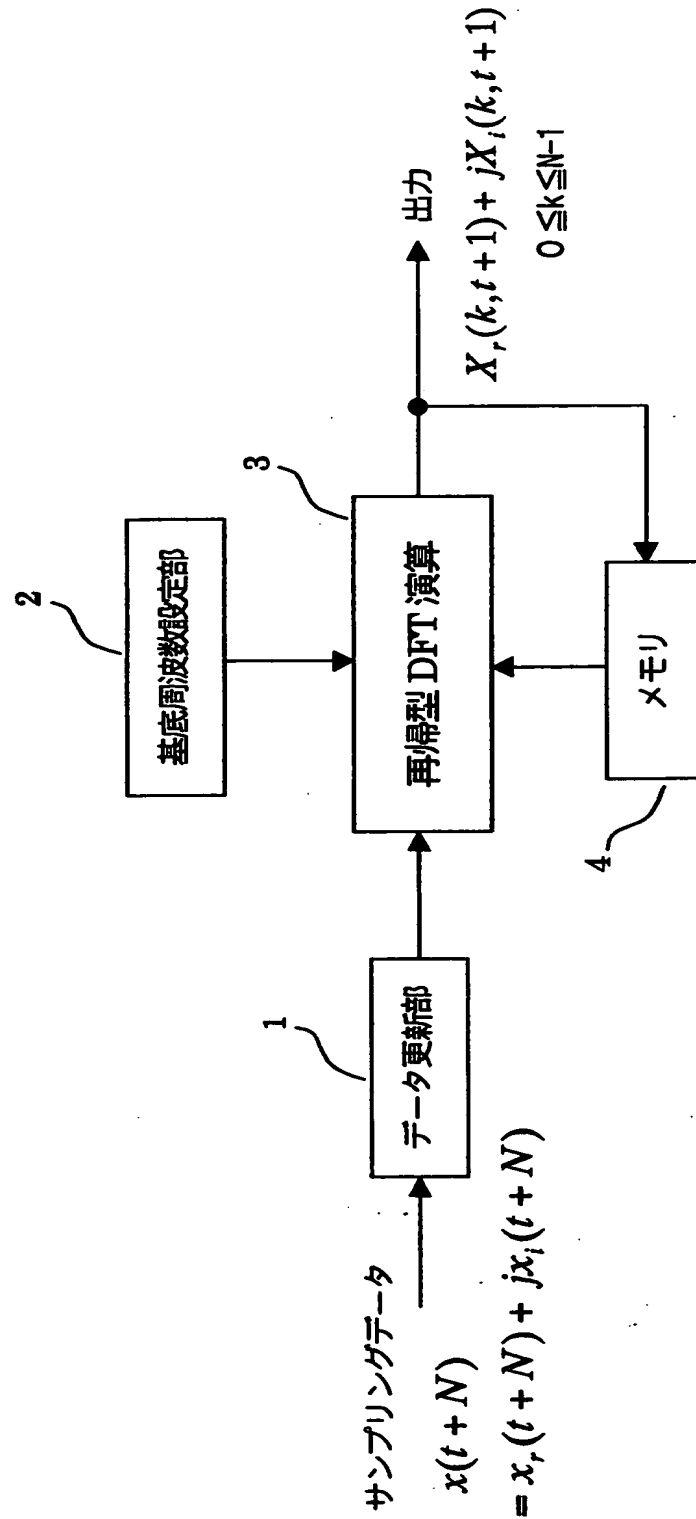
特 2 0 0 0 - 2 0 4 9 1 6

1 4 メモリ部

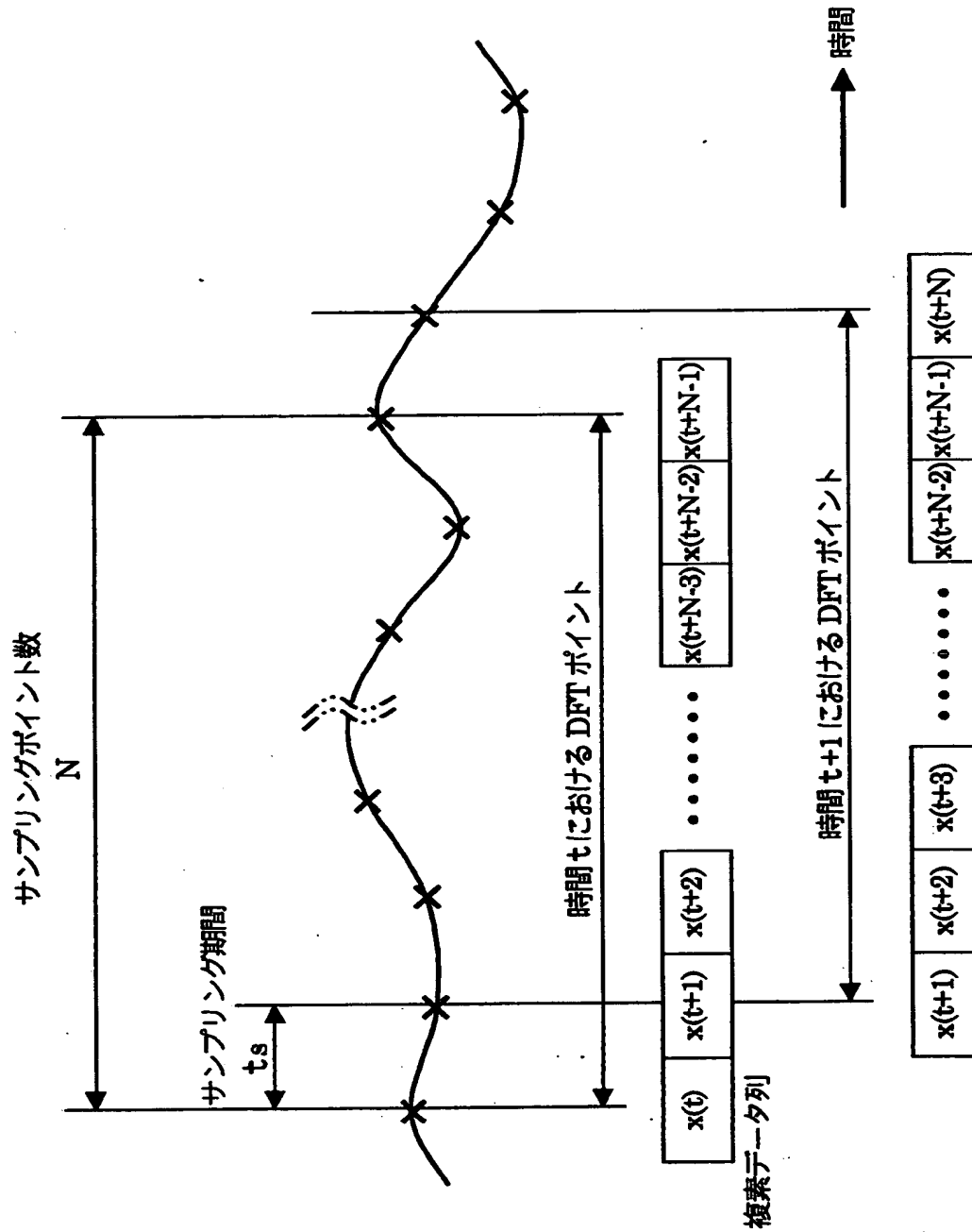
【書類名】

図面

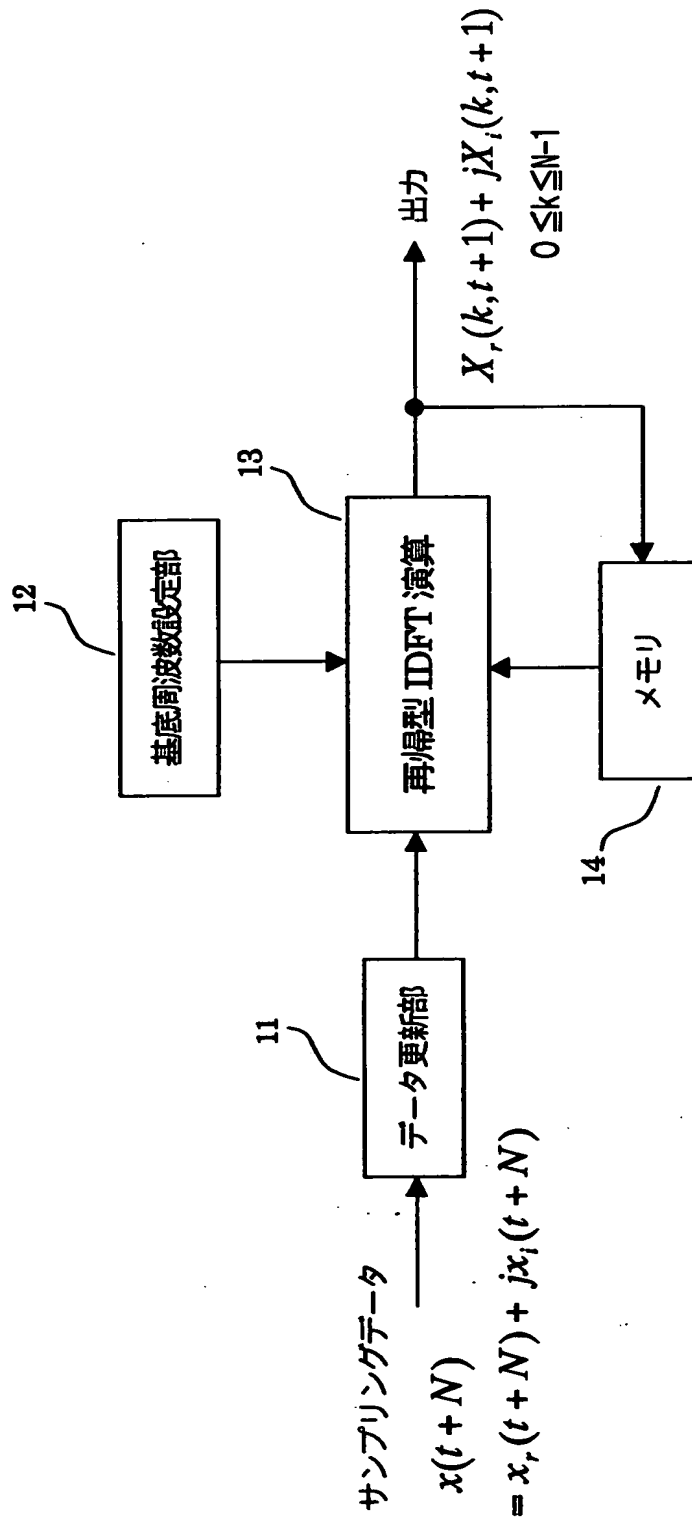
【図 1】



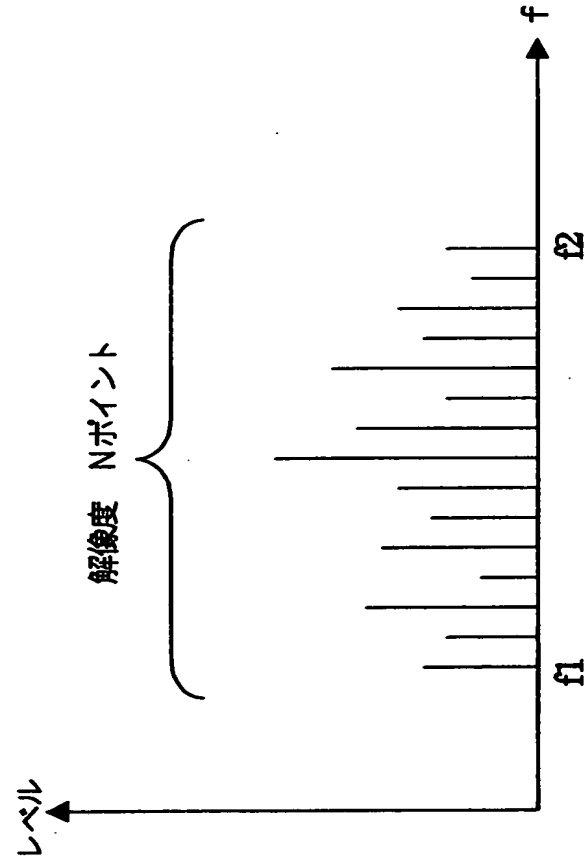
【図 2】



【図 3】



【図 4】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 逐次供給される、複素サンプリングデータを含むデータ列のフーリエ変換処理を、1 サンプリング期間内で高速に行うことにある。

【解決手段】 逐次供給されるデータのうち、最新のN個の複素データを取得し古いデータは削除するようにして一時記憶するに際し、直近に供給された複素データ値と削除する複素データ値の差の値をデータ更新部1より得、この得られた複素データと値と、メモリ部3に一時記憶された直近のFFT演算結果とを再帰型DFT演算部に供給し、これらの値を所定の方法により演算して最新のN個の複素データ値に対するFFT演算結果をリアルタイムに出力するようにした。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 4 3 2 9]

1. 変更年月日 1 9 9 0 年 8 月 8 日

[変更理由] 新規登録

住 所 神奈川県横浜市神奈川区守屋町3丁目12番地

氏 名 日本ビクター株式会社